

# APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

## Obiektywne dopasowanie aparatu słuchowego przy użyciu systemu SpeechPro i urządzenia Avant REM Speech+

DAGNA SWINARSKA<sup>1</sup>, RAFAŁ SWINARSKI  
POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY<sup>1</sup>

**Słowa kluczowe:** Avant REM Speech+, SpeechPro, aparat słuchowy, niedosłuch

### STRESZCZENIE:

Wstęp: Osoby niedosłyszające bardzo często borykają się z problemem nieodpowiednio dobranego aparatu słuchowego. Najczęstszym problemem wśród osób noszących pomoce słuchowe jest niewłaściwe rozumienie mowy w różnych warunkach akustycznych. Obecnie aparaty ustawiane są za pomocą specjalistycznych programów i urządzeń na podstawie subiektywnych odczuć pacjenta. Przedstawiona w niniejszym artykule metoda dopasowania aparatów słuchowych przy użyciu systemu SpeechPro i urządzenia Avant REM Speech+ pozwala na obiektywne dopasowanie aparatu słuchowego każdej osobie niedosłyszającej bez jej czynnego udziału.

Wyniki i dyskusja: Urządzenie Avant REM Speech+ całkowicie spełnia swoje zadanie – dopasowuje aparat słuchowy do danego ubytku słuchu bez ingerencji protetyka słuchu oraz subiektywnych odczuć pacjenta. Ustalenie natężenia dźwięku na zewnątrz i wewnątrz ucha pacjenta pozwala protetykowi słuchu dobrać rzeczywiste wzmocnienie niezbędne do danego niedosłuchu. Urządzenie jest bardzo dokładne, zakres błędów wynosi  $\pm 1$  dB. Wykres audiogramu oraz charakterystyka dopasowania są zbliżone do siebie, co odpowiada bardzo dokładnemu uzyskaniu skutecznego dopasowania aparatu słuchowego.

# Objective fitting of hearing aid with SpeechPro and Avant REM Speech+

**Keywords:** hearing aid, deafness, Avant REM Speech+

## ABSTRACT:

**Purpose:** Deafness is civilization disease, which affects, not only older people, but also young people and children. The most common problem among hearing aid users is improper speech understanding in various acoustic conditions. The method described in following article is about hearing aid fitting, using SpeechPro and Avant REM Speech+ device allowing objective fitting of hearing aids to any hearing impaired person without active participation.

**Results and discussion:** The Avant REM Speech+ device completely fulfills its purpose – it fits hearing system to the specific hearing loss without intervention of the hearing care professional and the subjective feelings of the patient. The chart of audiogram and fit characteristics are close to each other, which responds to very accurate attainment of effective fit of the hearing instrument.

## 1. WPROWADZENIE

Z medycznego punktu widzenia jedną z przyczyn uszkodzenia słuchu może być jednorazowa ekspozycja na hałas o bardzo wysokim poziomie ciśnienia akustycznego – uraz akustyczny [1]. Szacuje się, że w całej Europie jest ponad 30 mln. osób narażonych na pogorszenie słuchu [1]. Mają na to wpływ różne czynniki: środowisko pracy, życie codzienne i nowoczesne urządzenia XXI wieku odtwarzające muzykę: mp3 i telefony wraz ze słuchawkami. Problem stanowią niekiedy miejsca pracy, które nie zapewniają odpowiedniej ochrony słuchu przed hałasem lub ta ochrona jest bagatelizowana przez pracowników nawet wówczas, gdy jest dostępna w miejscu pracy [2].

Osoby niedosłyszające bardzo często borykają się z problemem niewłaściwie dobranego aparatu słuchowego. Kluczowe jest wykonanie poprawnego badania audiometrycznego na przewodnictwo powietrzne oraz kostne. Uzyskane podczas badań wyniki prezentowane są zazwyczaj w postaci krzywych progowych, które charakteryzują rodzaj niedosłuchu. Z otrzymanego audiogramu można określić w sposób jakościowy i ilościowy ubytek słuchu oraz lokalizację uszkodzenia [1]. Najczęściej popełnianymi błędami są: niepoprawne wykonanie badania na przewodnictwo powietrzne lub kostne; złe maskowanie ucha niebadanego; nieodpowiednie warunki badania; niedokładne poinformowanie pacjenta o przebiegu badania. Technologia i postęp aparatów słuchowych rozwija-

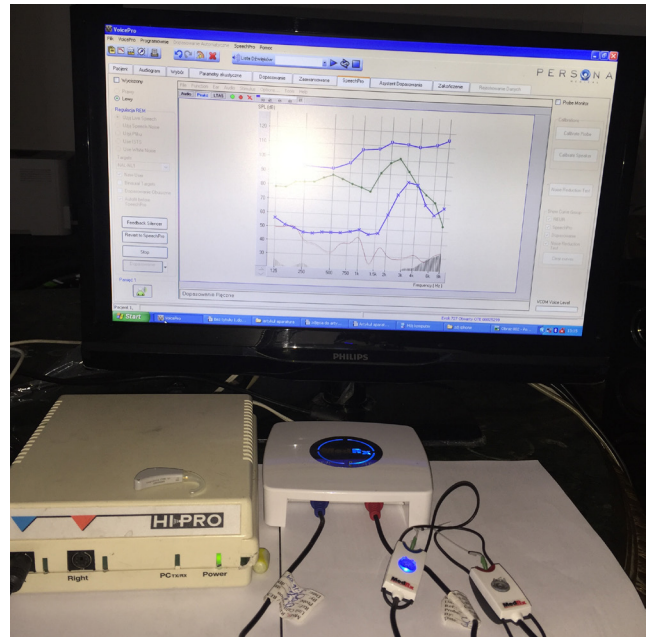
ją się bardzo dynamicznie od 30 lat. Obecnie na rynku dostępne są cyfrowe aparaty słuchowe wyposażone w mikroprocesory, nowoczesne cyfrowe mikrofony, cyfrowe wzmacniacze dźwięku, kompresory dźwięku. Aparaty ustawiane są za pomocą specjalistycznych programów i urządzeń. Celem pracy jest ocena funkcjonalna systemu SpeechPro i nowoczesnego urządzenia AVANT REM Speech+, które wspomagają dopasowanie nowoczesnych aparatów słuchowych serii Evok oraz Ole firmy Persona Medical.

## 2. SYSTEM SPEECHPRO I URZĄDZENIE AVANT REM SPEECH+ (LIVE SPEECH MAPPING)

System SpeechPro i urządzenie AVANT REM Speech+ to pierwszy na świecie system automatycznie programujący aparat słuchowy bez udziału pacjenta przy użyciu mowy lub dźwięków otoczenia. Przy jego użyciu mogą być programowane wysoko zaawansowane technologicznie aparaty słuchowe serii Evok i Ole. SpeechPro integruje programowanie i odwzorowanie mowy na żywo, tworząc Adaptacyjny Protokół Dopasowania (APD). SpeechPro mierzy charakterystykę aparatu słuchowego w kanale słuchowym i automatycznie dopasowuje jego ustawienie do poziomu wzmocnienia docelowego. AVANT REM Speech+ jest natomiast pierwszym na świecie wysokospecjalistycznym systemem dopasowania aparatów słuchowych, dostosowanym do wymagań pacjentów niesłyszących. Pomiar wykonywany jest przy uchu

oraz w kanale słuchowym. Dwa niezależne mikrofony wbudowane w urządzeniu pomiarowym mierzą i porównują dźwięki dochodzące z zewnątrz oraz w kanale słuchowym. Aparat słuchowy programowany jest w czasie rzeczywistym. Przy pierwszym dopasowaniu wprowadzane są sygnały otoczenia, które pozwalają wyznaczyć w pełni funkcjonalny stan dopasowania i wyeliminować obawę zredukowania wzmocnienia na podstawie pomiarów sondy. Z kolei oprogramowanie SpeechPro, które jest nieodłączne przy urządzeniu AVANT REM Speech+, stanowi nową erę precyzyjnej weryfikacji dopasowania in-situ w gabinecie protetycznym. Kompaktowy, ale wytrzymały system komputerowy jest zasilany za pomocą USB i obsługuje wszystkie testy ANSI i IEC Real Ear (ucho rzeczywiste). Oprogramowanie zawiera opcje dla metod dopasowania takich jak DSL 5.0, NAL-NL1 i NAL-NL2. Unikalną cechą AVANT REM Speech+ jest obustronne mapowanie mowy żywej [3]. Jest to istotne narzędzie dla programowania aparatów słuchowych. Umożliwia znaczną poprawę dokładności w zakresie weryfikacji i ustawienia aparatów słuchowych. Zapewnia natychmiastowe wskazanie słyszalności ważnych sygnałów codziennych, takich jak mowa, w tym mowa krewnych. Odwzorowywanie mowy pozwala urządzeniu dostosować parametry aparatu słuchowego w celu optymalizacji słyszalności mowy, unikając dyskomfortu głośności. Uwzględnia potrzeby zarówno pacjentów, jak i ich krewnych, w procesie dopasowania aparatu słuchowego, co prowadzi do większego zrozumienia i zadowolenia. Wreszcie, jego wykorzystanie prawdopodobnie zmniejszy liczbę wizyt kontrolnych, oszczędzając tym samym czas i pieniądze [16]. AVANT REM Speech+ jest metodą in-situ umożliwiającą właściwe dopasowanie aparatu słuchowego bez konieczności korekty i współpracy pacjenta. Unikalną zaletą AVANT REM Speech+ jest wykonywanie pomiarów bezpośrednio na uchu pacjenta z aparatem słuchowym lub bez. Najważniejszym wskazaniem, dla którego przeprowadza się pomiar na uchu rzeczywistym, jest kształt i wielkość kanału słuchowego, który znacząco wpływa na jego działanie oraz ustawienie istotnych parametrów, uwzględniając wszystkie pasma częstotliwości oraz charakterystykę danego modelu. Ustawienie natężenia dźwięku na zewnątrz i wewnątrz ucha pacjenta pozwala protetykowi słuchu dobrać rzeczywiste wzmocnienie

niezbędne do danego niedosłuchu i wprowadzić go do aparatu słuchowego. Błąd pomiaru przy zastosowaniu urządzenia AVANT REM Speech+ wynosi  $\pm 1$  dB, a zakres pomiaru mieści się od 40 do  $120 \pm 3$  dB SPL. Urządzenie AVANT REM Speech+ wyposażone jest w podwójną elektretową sondę mikrofonową. Średnica nominalna silikonowej rurki sondy wynosi 1,0 mm, a pomiar wykonywany jest w zakresie częstotliwości od 125 do 8000 Hz. Stanowisko pomiarowe przedstawia Rysunek 1.



**Rysunek 1** Stanowisko pomiarowe składające się z komputera, HI-PRO, urządzenia AVANT REM Speech+, sondy, aparatu słuchowego oraz głośnika

Urządzenie AVANT REM Speech+ & SpeechPro wymaga kalibracji. Głośnik należy ustawić w taki sposób, aby nic nie blokowało ścieżki emitowanego dźwięku. Natomiast membranę głośnikową należy umieścić na poziomie ucha pacjenta i mikrofonu odniesienia, w odległości około 1 m od pacjenta. Kalibracja sondy wymaga umieszczenia jej rurki na porcie mikrofonu sondy, a następnie między nasadkami kalibracyjnymi w celu zwiększenia dokładności przeprowadzenia kalibracji. Otwór rurki sondy powinien znajdować się bezpośrednio na otworze mikrofonu odniesienia. Mikrofon sondy należy umieścić w odległości 48-100 cm od głośnika. Sygnał testowy nie może być niższy niż 70 dB.

### 3. BADANIE EKSPERYMENTALNE PRZY UŻYCIU URZĄDZENIA AVANT REM SPEECH+ ORAZ OPROGRAMOWANIA SPEECHPRO

W pracy zaprezentowano procedurę dopasowania aparatu słuchowego dla wybranego pacjenta za pomocą urządzenia AVANT REM Speech+ i programu SpeechPro. Do dopasowania aparatu słuchowego został zakwalifikowany pacjent ze zdiagnozowanym jednostronnym niedosłuchem odbiorczym w stopniu umiarkowanym (osoba czynna zawodowo, lat 35).

Na Rysunku 2 został przedstawiony audiogram przykładowego pacjenta. Wykresy graficzne ubytku słuchu dla ucha prawego zaznaczono kolorem czerwonym, a dla ucha lewego kolorem niebieskim.

Oznaczenia symboli w audiogramie są następujące:

o – przewodnictwo powietrzne, bez maskowania, ucho prawe, linia ciągła,

x – przewodnictwo powietrzne, bez maskowania, ucho lewe, linia przerywana,

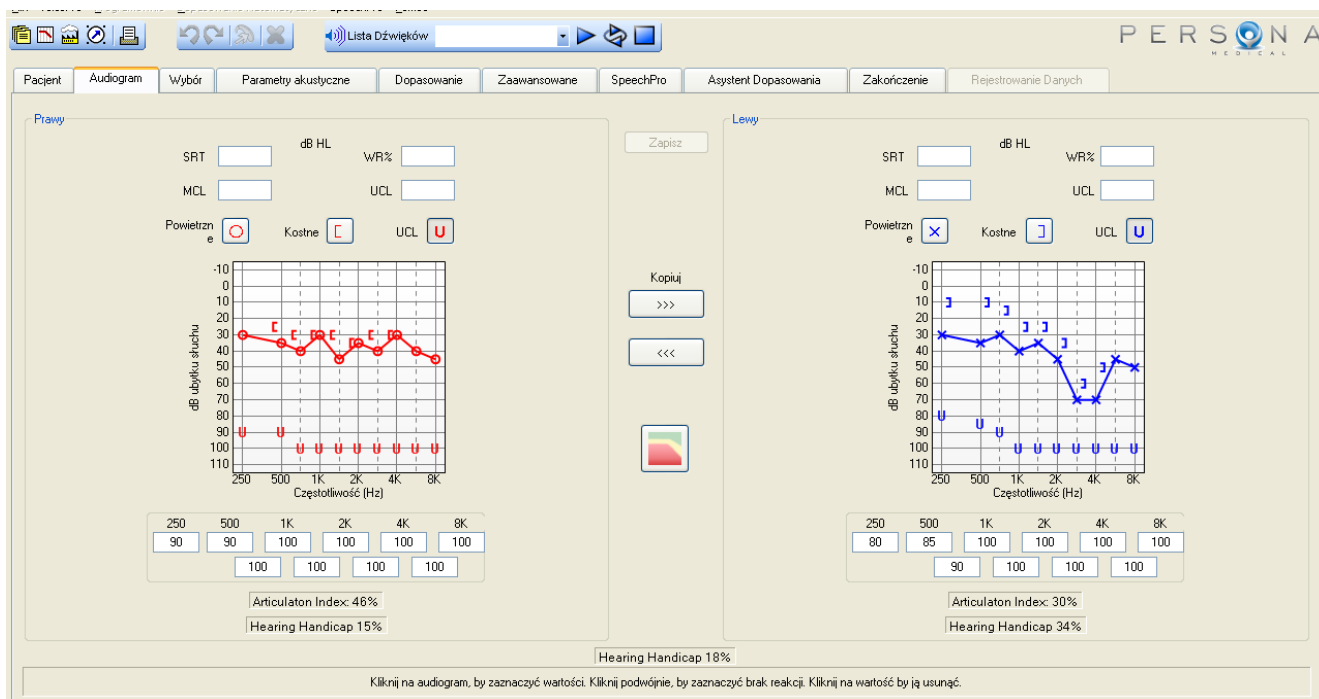
[ – przewodnictwo kostne z maskowaniem, ucho prawe, kolor czerwony,

] – przewodnictwo kostne z maskowaniem, ucho lewe, kolor niebieski,

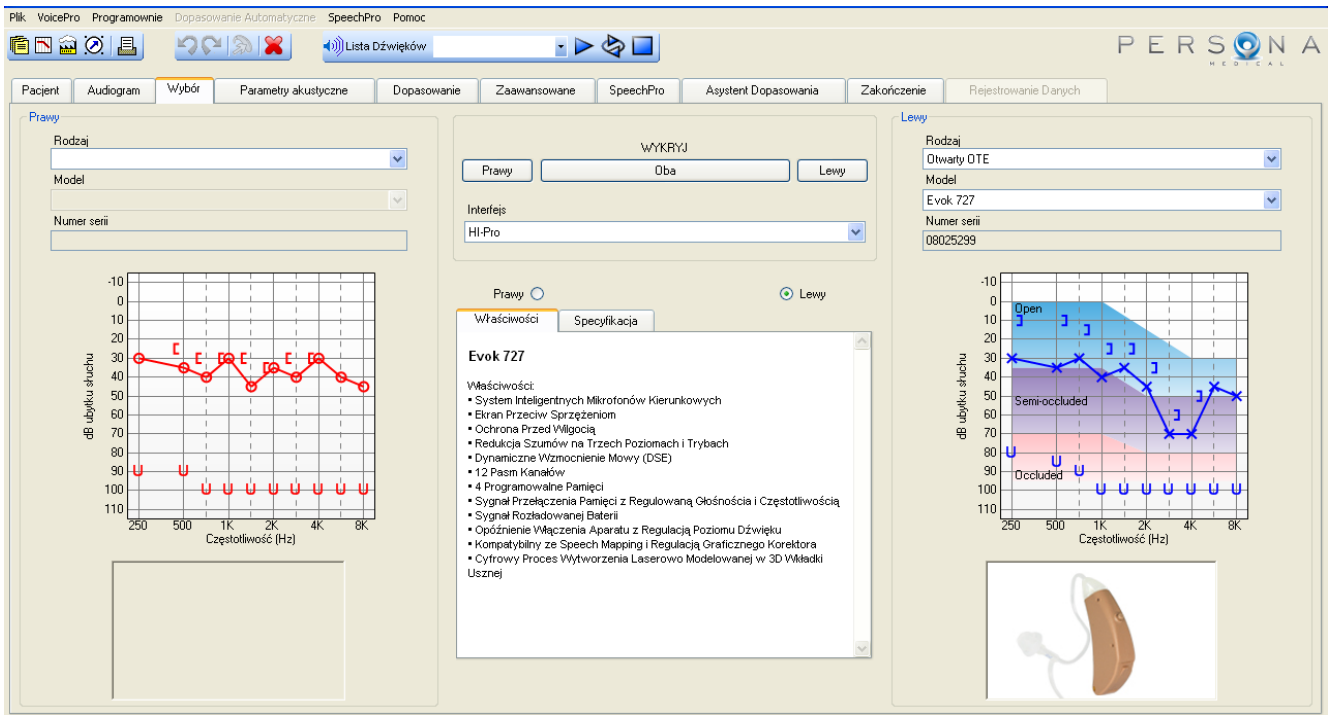
U – UCL (*Uncomfortable level*) próg dyskomfortu, oznaczony kolorem czerwonym lub niebieskim w zależności od strony badanej [5-7].

Na Rysunku 3 zaprezentowano audiogram przykładowego pacjenta i zakres dopasowania aparatu słuchowego dla ucha lewego, gdzie kolory oznaczają kolejno: niebieskie pole – protezowanie otwarte (Open), pole fioletowe – protezowanie z wkładką z wentylacją (Semi-occluded), pole różowe (Occluded) – protezowanie z wkładką bez wentylacji [8, 9]. Pola od niebieskiego – Open, przez fioletowe – Semi-occluded do różowego – Occluded stanowią zakres dopasowania wybranego aparatu słuchowego. Audiogram przykładowego pacjenta mieści się w polu oznaczonym kolorem fioletowym (nie wykracza poniżej tego pola, Rys. 3), oznacza to, że aparat słuchowy w pełni pokrywa zakres dopasowania na niskich częstotliwościach (250-750 Hz) oraz wysokich częstotliwościach (1000-8000 Hz).

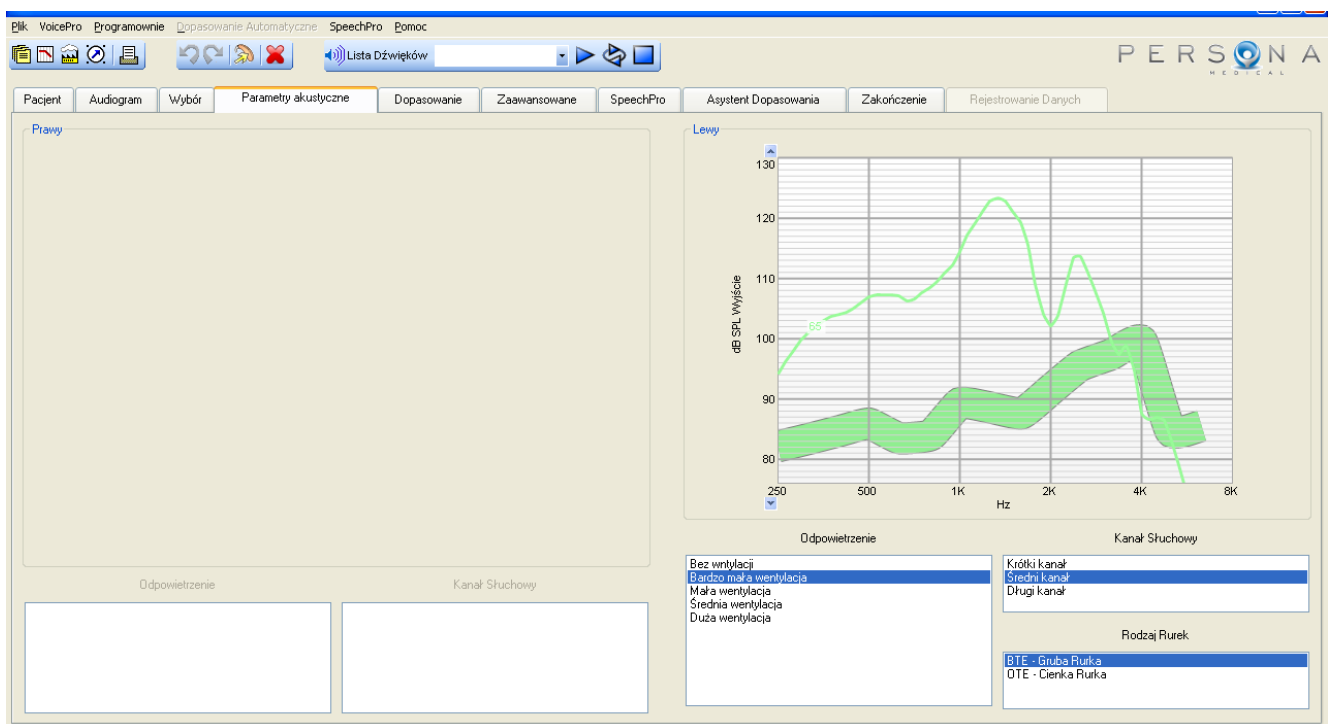
Możliwość ustawienia parametrów akustycznych przedstawiono na Rysunku 4. Do prezentowanego niedosłuchu lewego ucha pacjenta system dobrał optymalne warunki protezowania: „Odpowietrzenie” – bardzo mała wentylacja, „Kanał słuchowy” – średni kanał, przy wybranym manualnie protezowaniu aparatem zausznym (BTE – behind the ear).



Rysunek 2 Audiogram przykładowego pacjenta



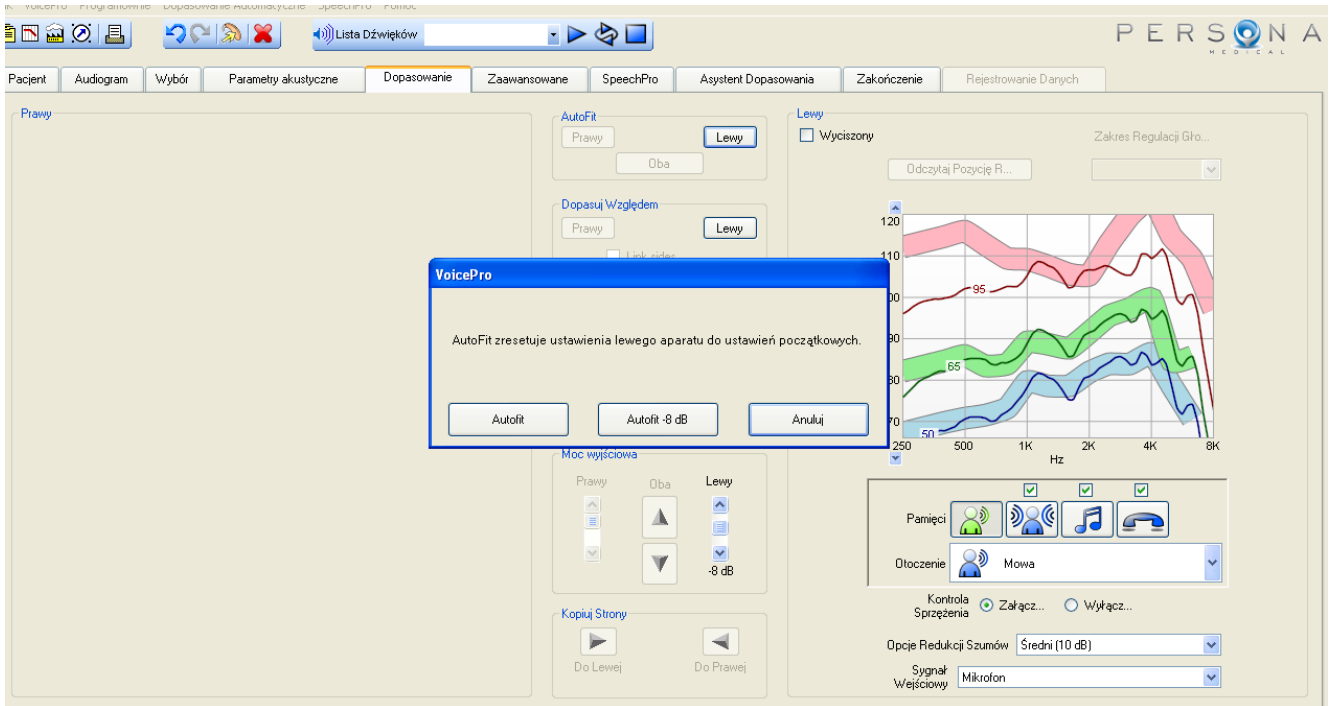
Rysunek 3 Zakres dopasowania aparatu słuchowego



Rysunek 4 Parametry akustyczne wybranego aparatu słuchowego.  
Charakterystyka częstotliwościowa aparatu słuchowego na wyjściu (db SPL wyjście)

Zakładka „Dopasowanie” uruchamia opcję AutoFit – automatyczne programowanie aparatu na podstawie wprowadzonego audiogramu pacjenta (Rys. 5) oraz parametrów akustycznych. Program resetuje ustawienia aparatu słuchowego do ustawień początkowych – zadanych. Program korzysta z algorytmów metody dopasowania NAL-NL1 opracowanej przez H. Dillona [17,

18]. Jest to procedura dopasowywania nieliniowych aparatów słuchowych (procedura dopasowania nieliniowego National Acoustic Laboratories, wersja 1 [NAL-NL1]). Celem tej metody jest maksymalizacja zrozumiałości mowy, przy jednoczesnym ograniczeniu głośności do poziomu odpowiadającego osobom normalnie słyszącym [17, 18].



Rysunek 5 Dopasowanie automatyczne aparatu – AutoFit

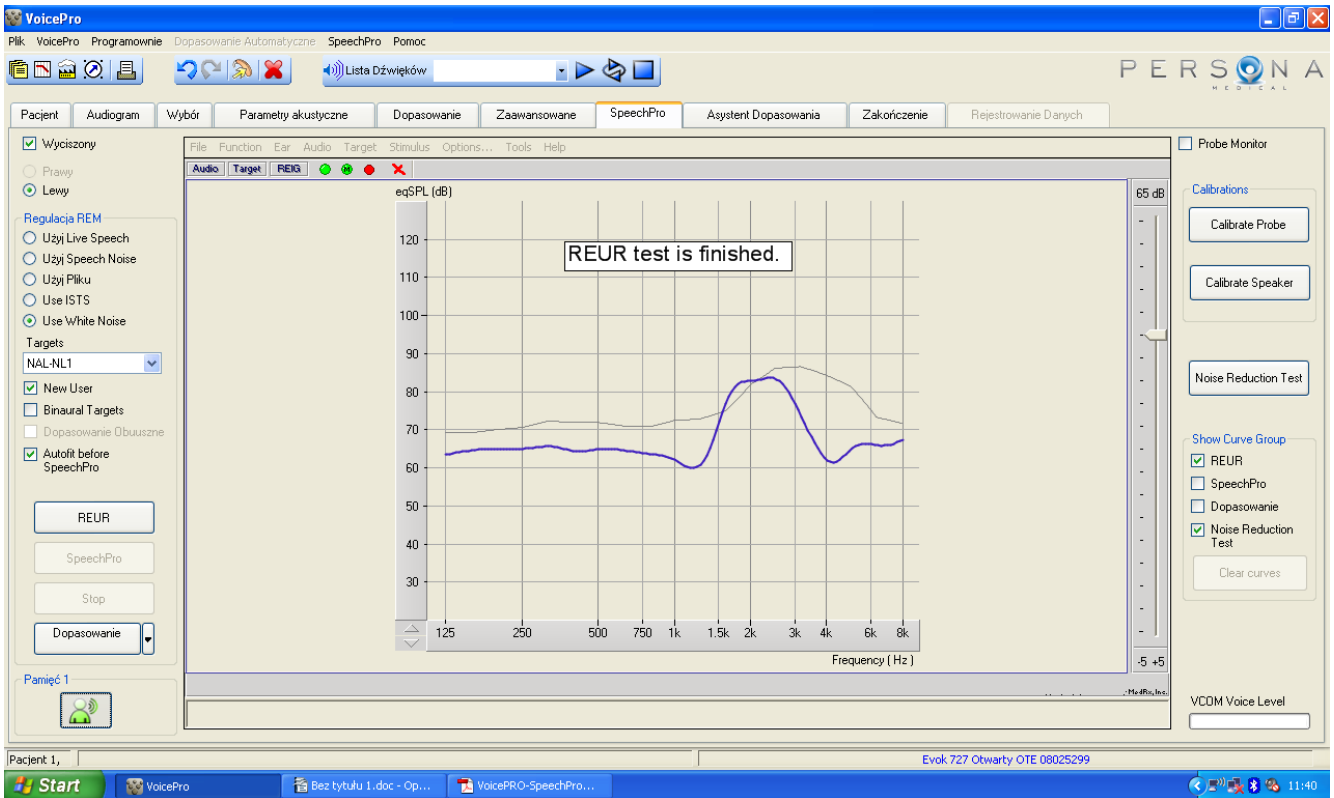
W zakładce SpeechPro dokonuje się automatyczne dopasowanie bez ingerencji pacjenta i jego subiektywnych odczuć. Urządzenie dokonuje pomiaru w zewnętrznym przewodzie słuchowym i następnie wybiera najlepsze ustawienia dla niedosłuchu pacjenta.

Wykonanie testu REUR (ang. Real Ear Unaided Response) polega na pomiarze ciśnienia akustycznego w wybranym punkcie przewodu słuchowego zewnętrznego bez aparatu słuchowego [4]. Sonda mikrofonowa umieszczona w przewodzie słuchowym, przy błonie bębenkowej, dokonuje niezbędnego pomiaru – określa pojemność kanału słuchowego i mierzy rzeczywistą różnicę poziomów dźwięków rejestrowanych przy błonie bębenkowej (w zależności czy jest to osoba dorosła czy dziecko) [10, 14]. Dla dzieci poniżej piątego roku życia zalecane jest bezwzględnie wykonanie pomiaru na uchu rzeczywistym, z powodu mniejszej pojemności przewodu słuchowego, niż jest to u osób dorosłych [8]. Jest to bardzo istotny parametr do dokładnego doboru ustawień aparatu słuchowego. Wielkość wzmocnienia akustycznego w aparacie słuchowym zastosowana dla osób dorosłych nie może być wykorzystana w przypadku dzieci o podobnym niedosłuchu. Dzieci nie potrzebują na ogół dużego wzmocnienia dla dźwięków głośniejszych i dźwięków o normalnej głośności. Większe wzmocnienie potrzebne jest dla dźwięków cichych. Powoduje to zastosowanie w apa-

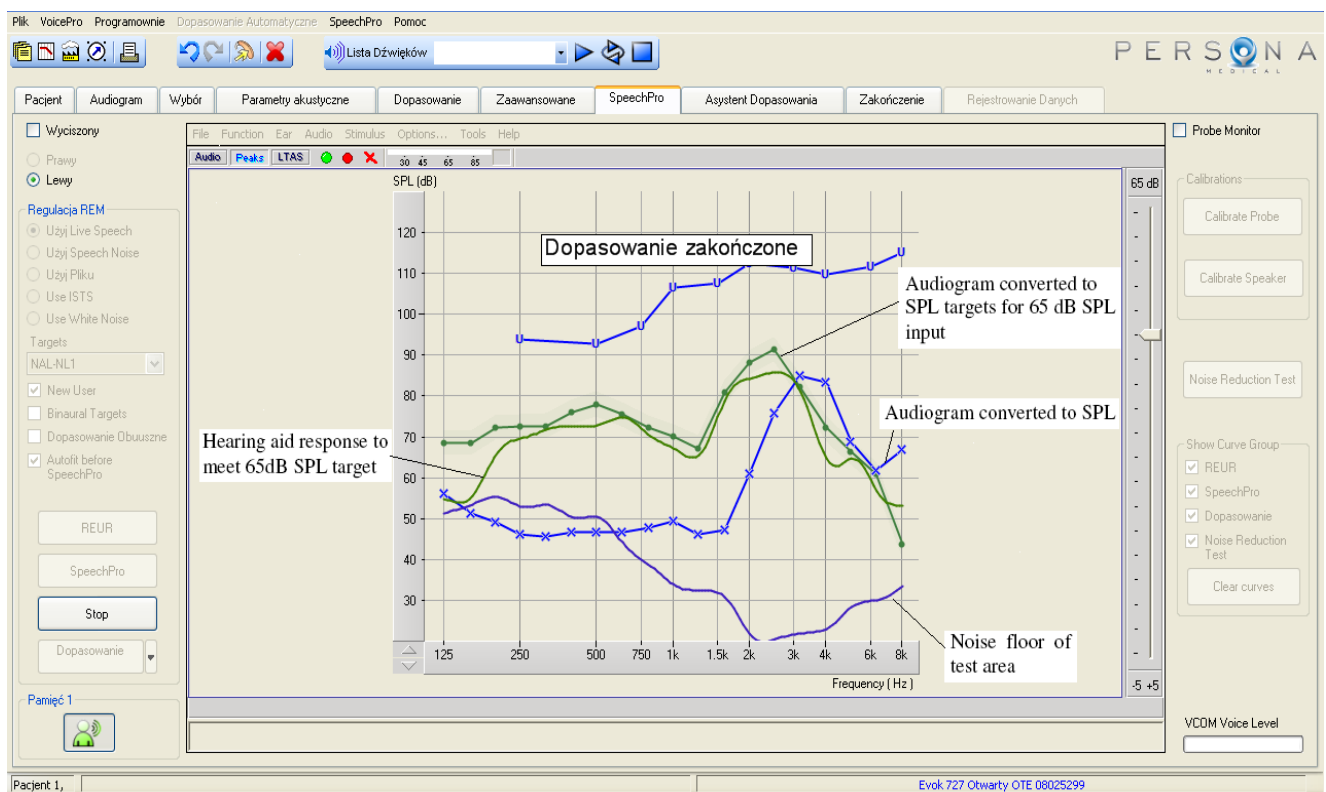
ratach dla dzieci zakresu większej dynamiki [12, 14].

Procedurę testu dla przykładowego pacjenta przedstawiono na Rysunku 6. Przebieg parametru REUR w funkcji częstotliwości wyznaczono dla osoby dorosłej. Sygnałem testowym był sygnał o poziomie ciśnienia akustycznego 70 dB SPL. W przebiegu REUR występuje maksimum, które przypada dla zakresów częstotliwości od 1,5 do 3 kHz (Rys. 6) [10, 11].

Po wykonaniu pomiarów, pacjentowi zakładany jest aparat słuchowy do ucha wraz z wkładką uszną i następuje dopasowanie wybranego aparatu słuchowego. W zakładce „Regulacja REM” należy zaznaczyć „Speech Noise”. Automatycznie zostaje przeprowadzona procedura dopasowania aparatu słuchowego, uwzględniająca zmianę pojemności przewodu słuchowego po założeniu wkładki usznej. Na Rysunku 7 zaprezentowano charakterystyki częstotliwościowe zastosowane do obiektywnego dopasowania aparatu słuchowego z zastosowaniem SpeechPro. Krzywa koloru niebieskiego z symbolem „u” oznacza poziom niewygodny (UCL – *Uncomfortable Level*). Krzywa niebieska z krzyżykami oznacza audiogram, który został przeliczony na SPL, czyli poziom ciśnienia akustycznego. Krzywa zielona z kropkami oznacza przeliczenie audiogramu na cele SPL dla wejścia 65 dB SPL. Krzywa zielona ciągła oznacza odpowiedź aparatu słuchowego



Rysunek 6 Przykładowy przebieg parametru REUR



Rysunek 7 Dopasowanie aparatu słuchowego za pomocą SpeechPro

na osiągnięcie celu 65 dB SPL (Rys. 7). Rysunek obrazuje korzystny efekt dopasowania aparatu słuchowego. Krzywa zielona oznaczona kropkami (zapis graficzny audiogramu) oraz krzywa zielona ciągła (oznaczająca odpowiedź aparatu słuchowego na zadany sygnał) są zbliżone do siebie (Ryc. 7). Świadczy to jednoznacznie o bardzo dokładnym dopasowaniu zastosowanego aparatu słuchowego przy użyciu urządzenia AVANT REM Speech+.

Objektywne dopasowanie aparatu słuchowego przy użyciu systemu SpeechPro i urządzenia Avant REM Speech+

#### 4. Dyskusja

Przegląd dostępnej literatury pokazuje, iż istnieje potrzeba prowadzenia badań w tym obszarze, jak również szerokiego zastosowania przedstawionej metody programowania aparatów słuchowych z użytym w eksperymencie urządzeniem. Tradycyjne dopasowanie aparatów słuchowych z udziałem pacjenta nie daje tak wymiernych korzyści jak przy zastosowaniu urządzenia AVANT REM Speech+. Już przy pierwszym dopasowaniu daje stu procentowy efekt. Zastosowanie tego urządzenia, do dopasowania aparatów słuchowych, jest wielkim krokiem naprzód w protezowaniu obiektywnym. Dotychczas protetyk słuchu opierał się na subiektywnych odczuciach pacjentów i swoim doświadczeniu. Nie jest to możliwe w przypadku noworodka, dziecka niesłyszącego, osoby niepełnosprawnej umysłowo, pacjentów autystycznych. McCreery i inni przeprowadzili szereg badań na 195 dzieciach z niedosłuchem różnego stopnia. Dzieci były zaopatrzone w aparaty słuchowe na przewodnictwo powietrzne. Pomiarzy kontroli jakości aparatów słuchowych obejmowały zmierzenie całkowitego zniekształcenia harmonicznego, zakresu częstotliwości i poziomu ciśnienia akustycznego wyjściowego przy 90 dB (OSPL90) uzyskanego w sprężaczu 2 cm<sup>3</sup> wg ANSI S3.22 (2003). Po przeprowadzeniu oceny elektroakustycznej audiolog wprowadził sondę mikrofonową, aby określić ilość rzeczywistej różnicy między słuchawkami (RECD) w celu sprawdzenia słyszalności mowy i maksymalnej mocy wyjściowej. Gdy nie było możliwości pomiaru RECD ze względu na ograniczoną współpracę lub hałas, została użyta średnia RECD. Następnie weryfikacja słuchu została zakończona w sprężaczu 2 cm<sup>3</sup>. Z badań wynika, że najważniejszą metodą jest pomiar RECD na uchu rzeczywistym. Stosowanie uśrednionych wartości RECD nie daje prawidłowych informacji o rzeczywistych różnicach poziomów na wyjściu aparatu słuchowego kalibrowanego na sprężaczu 2 cm<sup>3</sup>. Autorzy stwier-

dziłi iż, indywidualny pomiar RECD był bardziej dokładny niż średnia wieku dla każdego dziecka, co doprowadziło do najlepszego zamierzonego celu badań, tj. optymalnego dopasowania aparatu słuchowego do niedosłuchu pacjenta [15].

Tematyka pomiarów na uchu rzeczywistym przy dopasowaniu aparatów słuchowych nie jest do końca wyczerpana w literaturze fachowej.

#### 5. Wnioski

Przedstawiony w pracy system dopasowania umożliwia obiektywne protezowanie słuchu pacjentów. Ta innowacyjna metoda dopasowania prezentuje wiarygodne wyniki tuż po zaprogramowaniu aparatu słuchowego. Przedstawiają je zawarte w pracy rezultaty badań. Nie ma konieczności weryfikacji dopasowania z odczuciami pacjenta, które były w tradycyjnym dopasowaniu konieczne i możliwe do sprawdzenia dopiero po 2-3 tygodniach od ustawienia aparatu słuchowego i przetestowania ustawień przez pacjenta.

Pomiary na uchu rzeczywistym na potrzeby weryfikacji są szczególnie zalecane przy dopasowywaniu aparatów cyfrowych. Wynika to z faktu, iż od aparatów tych wymaga się większej efektywności i większego zysku.

Niestety potrzeba weryfikacji ustawień cyfrowych aparatów słuchowych oznacza konieczność zastosowania specjalnych procedur – metod badawczych oraz kosztownej specjalistycznej aparatury. Wielu producentów usilnie szuka urządzeń, które w łatwy sposób będą mogły dopasowywać aparaty słuchowe z wykorzystaniem metody, która jest prezentowana. Zastosowanie pomiarów in-situ do prezentowanego w artykule sposobu dopasowania aparatu słuchowego, jest kluczem do bezpiecznego i kończonego sukcesem dopasowania aparatów słuchowych nie tylko dzieci. Jest rekomendowana jako metoda do dopasowania aparatów w każdym przypadku.

#### LITERATURA

- [1] Śliwińska-Kowalska M., *Audiologia Kliniczna*, 2005, 281-290.
- [2] Rabinowitz P. M., Noise-induced hearing loss, *Am. Fam. Physician* 2000, 61: 2749-56, 2759-60.
- [3] Moore B. C. J., Speech mapping is a valuable tool for fitting and counseling patients, *The Hearing Journal*: 2006, 59(8): 26, 28, 30.



- [4] Hojan E. (red. nauk.), Protetyka Słuchu, 2014, 555-556.
- [5] Bystrzanowska T., Audiologia kliniczna, PZWL, Warszawa 1978.
- [6] Orendorz-Frączkowska K., Iwankiewicz J., Frączkowski K., Kokot K., Audiometria tonalna w mikrokomputerowym systemie badania słuchu. Otolaryngolog Pol 1991, 45(3): 225-231.
- [7] Yantis PA., Puretone air-conduction treshold testing, Handbook of clinical audiology. Katz J. (red.), Williams & Wilkins, Baltimore 1994: 97-108.
- [8] Dillon H., Hearing aids, Boomerang Press, Sydney, 2012.
- [9] Hojan E., Dopasowanie aparatów słuchowych, Mediton, Łódź, 2009.
- [10] Gołębiewski R., Pomiary akustyczne metodą in-situ, cz. 1, Biuletyn Polskiego Stowarzyszenia Protetyków Słuchu, 2004, 18: 20-24.
- [11] Gołębiewski R., Pomiary akustyczne metodą in-situ, cz. 2, Biuletyn Polskiego Stowarzyszenia Protetyków Słuchu, 2005, 20: 26-29.
- [12] Valente M., Strategies for selecting and verifying hearing aid and fittings, Thieme, New York, 2002.
- [13] Hojan E., Akustyka aparatów słuchowych, Wydawnictwo Naukowe UAM, 2001.
- [14] Hojan E., Miernictwo aparatów słuchowych, Wydawnictwo Naukowe UAM, 2001.
- [15] McCreery R. W., Bentler R. A., Roush P. A., The characteristics of hearing aid fittings in infants and young children, Ear and hearing 2013 Nov-Dec.
- [16] Moore B. C. J., Speech mapping is a valuable tool for fitting and counseling patients, Hearing Journal: August 2006 - Volume 59 - Issue 8 - pp 26, 28, 30.
- [17] Byrne D., Dillon H., Ching T., Katsch R., Keidser G., NAL-NL1: A fitting rule for non-linear hearing instruments, Journal of the American Academy of Audiology, 2001, 12(1).
- [18] Dillon H., NAL-NL1: A new procedure for fitting non-linear hearing aids, Hearing Journal: 1999, 52(4): 10, 12, 14, 16.